

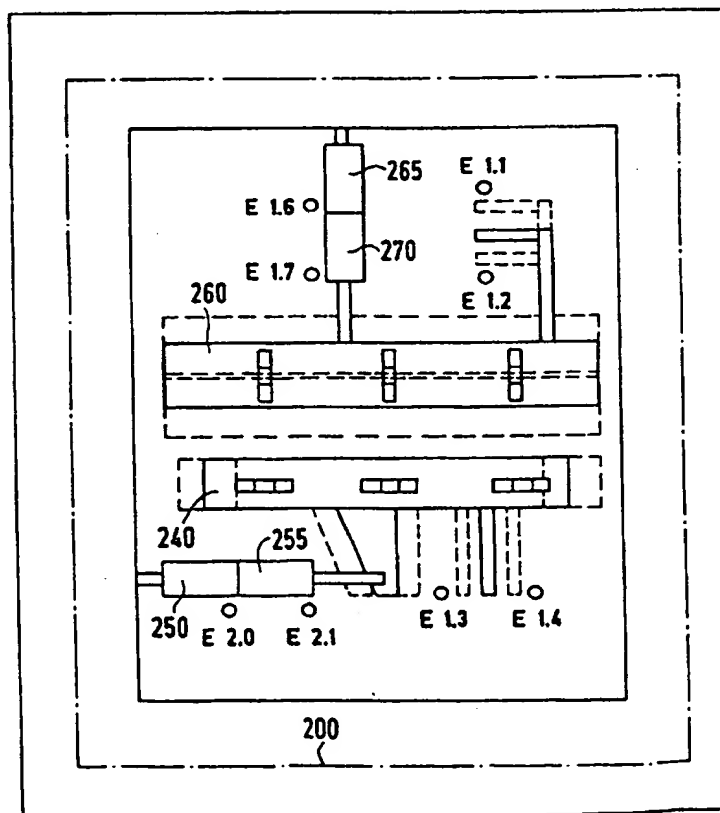
(51) Internationale Patentklassifikation ⁶ : G05B 19/048, 19/05, 23/00	A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 95/27236 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 12. Oktober 1995 (12.10.95)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE95/00419 (22) Internationales Anmeldedatum: 28. März 1995 (28.03.95) (30) Prioritätsdaten: P 44 11 363.3 31. März 1994 (31.03.94) DE (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, D-80333 München (DE). (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): SCHWARZ, Peter [DE/DE]; Lerchenbühl 29, D-91056 Erlangen (DE). BUNGERT, Ul- rich [DE/DE]; Mitteldorfer Weg 4, D-91085 Weisendorf (DE). KRÄMER, Rolf [DE/DE]; Blumenstrasse 2, D-91085 Weisendorf (DE).	(81) Bestimmungsstaaten: CN, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i>	

(54) Title: PROCESS FOR AUTOMATIC FAULT DIAGNOSIS**(54) Bezeichnung:** VERFAHREN ZUR AUTOMATISCHEN DIAGNOSE VON STÖRUNGSFÄLLEN**(57) Abstract**

In processes and/or installations which are monitored by a run-off control of an SPS program configured as a contact diagram (KOP), logical diagram or instruction list (AWL), according to the invention, to prepare for diagnosis, the AWL code of the SPS program is analysed by machine and edited in the form of a knowledge base. A step sequence analysis and/or a transition analysis is performed to edit the knowledge base.

(57) Zusammenfassung

Bei Prozessen und/oder Anlagen, die durch eine Ablaufsteuerung eines SPS-Programms kontrolliert werden, das als Kontaktplan (KOP), als Funktionsplan (FUP) oder als Anweisungsliste (AWL) erstellt ist, wird erfindungsgemäß zur Bereitstellung für den Diagnosefall der AWL-Code des SPS-Programms maschinell analysiert und in Form einer Wissensbasis aufbereitet. Zur Aufbereitung der Wissensbasis wird eine Schritkettenanalyse und/oder eine Transitionsanalyse durchgeführt.



LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AT	Österreich	GA	Gabon	MR	Mauretanien
AU	Australien	GB	Vereinigtes Königreich	MW	Malawi
BB	Barbados	GE	Georgien	NE	Niger
BE	Belgien	GN	Guinea	NL	Niederlande
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	NO	Norwegen
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	NZ	Neuseeland
BJ	Benin	IE	Irland	PL	Polen
BR	Brasilien	IT	Italien	PT	Portugal
BY	Belarus	JP	Japan	RO	Rumänien
CA	Kanada	KE	Kenya	RU	Russische Föderation
CF	Zentrale Afrikanische Republik	KG	Kirgisistan	SD	Sudan
CG	Kongo	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SE	Schweden
CH	Schweiz	KR	Republik Korea	SI	Slowenien
CI	Côte d'Ivoire	KZ	Kasachstan	SK	Slowakei
CM	Kamerun	LI	Liechtenstein	SN	Senegal
CN	China	LK	Sri Lanka	TD	Tschad
CS	Tschechoslowakei	LU	Luxemburg	TG	Togo
CZ	Tschechische Republik	LV	Lettland	TJ	Tadschikistan
DE	Deutschland	MC	Monaco	TT	Trinidad und Tobago
DK	Dänemark	MD	Republik Moldau	UA	Ukraine
ES	Spanien	MG	Madagaskar	US	Vereinigte Staaten von Amerika
FI	Finnland	ML	Mali	UZ	Usbekistan
FR	Frankreich	MN	Mongolei	VN	Vietnam

Beschreibung

Verfahren zur automatischen Diagnose von Störungsfällen

- 5 Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur automatischen Diagnose von Störungsfällen bei Prozessen und/oder Anlagen, die durch eine Ablaufsteuerung eines SPS-Programms kontrolliert werden, das als Kontaktplan (KOP), als Funktionsplan (FUP) oder als Anweisungsliste (AWL) erstellt ist.
- 10 Auf unterschiedlichen Gebieten der Technik werden Fertigungsprozesse und Fertigungsanlagen durch speicherprogrammierbare Steuergeräte gesteuert, die allgemein als SPS bezeichnet werden. Die Software solcher SPS wird üblicherweise auf Programmiergeräten als Kontaktplan (KOP), als Funktionsplan (FUP) oder als Anweisungsliste (AWL) erstellt. Dies ist im einzelnen beispielsweise in SPS-Magazin (1993), Heft 5, Seiten 16 bis 19 und Seiten 39 bis 40, insbesondere in der Veröffentlichung mit der Bezeichnung "Einheitliche SPS-Programmierung mit IEC 1131-3", dargelegt. Die dort angegebenen Repräsentationsformen des Programms sind weitgehend äquivalent, insbesondere können Kontaktplan (KOP) bzw. Funktionsplan (FUP) in eine Anweisungsliste (AWL) umgewandelt werden. Neben den angegebenen Werkzeugen zur Programmerstellung wird weiterhin
- 15 20 zwischen zwei unterschiedlichen Programmtypen und zwar der Schrittkettensteuerung und der Verknüpfungssteuerung unterschieden.
- 25 Im Störungsfall eines SPS-gesteuerten Prozesses muß üblicherweise anhand des SPS-Programms und der darin verwendeten Operanden - wie Merker, Datenwörter, Ein-/Ausgangsbits - die Störungsursache eingegrenzt werden, um geeignete Maßnahmen zur Störungsbehebung zu ergreifen. Hierfür werden besonders geschulte Spezialisten benötigt, die eine Fehlerdiagnose vor-
- 30 35 nehmen.

Aufgabe der Erfindung ist es demgegenüber, eine Methode zur automatischen Fehlerdiagnose vorzuschlagen, die im Falle einer Störung an einer SPS-gesteuerten Anlage zum Einsatz kommen kann.

5

Die Aufgabe ist erfindungsgemäß bei einem Verfahren der eingangs genannten Art dadurch gelöst, daß zur Bereitstellung für den Diagnosefall der AWL-Code des SPS-Programms maschinell analysiert und in Form einer Wissensbasis aufbereitet wird. Vorzugsweise werden zur Aufbereitung der Wissensbasis entweder eine Schrittkettenanalyse und/oder eine Transitionsanalyse durchgeführt.

15 Mit der Erfindung ist erreicht, daß im Störfall eine geeignete Wissensbasis bereitsteht, die mit Hilfe einer Ablaufumgebung, die als Diagnoseshell bezeichnet wird, die Vorgehensweise eines Instandsetzers auf einem Rechner nachahmen kann. Die Diagnose-Shell bearbeitet die Wissensbasis, ermittelt im On-line-Dialog mit dem Automatisierungsgerät die ver-
20 dächtigen Prozeßzustandssignale und teilt sie dem Maschinenführer mit, der damit die Funktion des Instandsetzers übernehmen kann.

Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen. Dabei wird auf die Figuren der Zeichnung mit Funktionsplänen zu Einzelpunkten verwiesen. Es zeigen

- Figur 1 eine allgemeine Schrittkettenstruktur,
30 Figur 2 den Ausschnitt aus einem Ablaufsteuerprogramm,
Figur 3 die oberste Ebene eines Entscheidungsbaums zur Schrittkettendiagnose,
Figur 4 den Aufbau einer Schrittzelle,
Figur 5 die Weiterschaltbedingungen einer Schrittkette,
35 Figur 6 die Und-Verknüpfung auf einen nichtinvertierenden Eingang der Basiskonjunktion,

- Figur 7 die ODER-Verknüpfung auf einen nichtinvertierenden Eingang der Basiskonjunktion, die
Figuren 8 und 9 entsprechende Verknüpfungen für einen invertierenden Eingang der Basiskonjunktion,
5 Figur 10 die Ableitung einer Fehlerbaumstruktur
Figur 11 bis 14 die Anwendung letzterer Prinzipien bei einer spezifischen Fertigungsaufgabe und
Figur 15 einen dafür realisierten Entscheidungsbaum.
- 10 Um das SPS-Programm in eine diagnosegerechte Struktur umsetzen zu können, ist es erforderlich, vorhandene Schnittketten als solche zu erkennen.
- 15 Beim Konzept einer Ablaufsteuerung über Schrittketten wird der gesamte zu steuernde Prozeß in einzelne Teilschritte gegliedert, die sequentiell bearbeitet werden. Zu Beginn eines jeden Schrittes wird geprüft, ob alle für den Prozeßschritt erforderlichen Voraussetzungen erfüllt sind. Ist dies der Fall, wird der Schritt aktiviert und es werden die den Prozeßschritt ausmachenden Aktionen ausgelöst. Anschließend geht
20 das SPS-Programm zur Bearbeitung des nächsten Prozeßschrittes über, wobei zunächst wieder die Voraussetzungen für den nächsten Schritt geprüft werden, um danach die zugehörigen Aktionen auszulösen. Es findet also ein Wechselspiel zwischen Prüfen von Voraussetzungen und Auslösen von Aktionen statt, das
25 sich solange wiederholt, bis der gesamte Prozeßablauf einmal vollständig ausgeführt ist.
- 30 In einem SPS-Programm wird die Bearbeitung einer Schrittkette nach Art eines Schieberegisters organisiert. Ein Zustandsbit - ein sogenanntes Flag - das den augenblicklichen Stand der Prozeßschrittfolge signalisiert, wird Schritt für Schritt weitergeschaltet. Dadurch wird sichergestellt, daß immer nur ein Prozeßschritt gleichzeitig aktiv ist und daß die Prozeßschritte in der korrekten Reihenfolge bearbeitet werden. Dies
35

ist an der Figur 1 verdeutlicht, welche die grundsätzliche Struktur eines Schrittketten-Steuerprogramms wiedergibt.

Gemäß dem Stand der Technik gibt es verschiedene Möglichkeiten zur programmtechnischen Ausführung von Schrittketten in SPS-Programmen. Allen Lösungen ist gemeinsam, daß die Schritt-Flags als Speicherelemente angelegt sind, welche üblicherweise als Schrittmerker bezeichnet werden.

Daraus ergibt sich, daß das Setzen der Flags für den Schritt n vom Vorhandensein des Flags für den Schritt n-1 und vom Erfülltsein der Vorbedingungen für den Schritt n abhängt. Das Rücksetzen des Flags für Schritt n wird umgehend beim Aktivwerden des Flags für Schritt n+1 veranlaßt.

Aus der Figur 2 ergibt sich ein typischer Ausschnitt eines Ablauf-Steuerprogramms als Funktionsplan (FUP) und als Anweisungsliste (AWL). Das Steuerprogramm ist in diesem Fall für ein Bearbeitungsbeispiel gemäß den Figuren 11 bis 14 realisiert, anhand derer weiter unten eine Vorrichtung zum Umbiegen der Anschlüsse bedrahteter Kondensatoren in einer halbautomatischen Leiterplattenfertigung beschrieben wird. Dabei sind die Schrittketten-Flags unter anderem die Merker M64.0 bis M64.7. Auf einen solchen Prozeß beziehen sich die nachfolgenden Ausführungen.

Im Falle einer Störung wird der Prozeß unterbrochen. Da das Stehenbleiben des Prozesses bzw. der zugehörigen Anlagen mit dem Stehenbleiben der steuernden Schrittketten einhergeht, müssen für eine vollautomatische Störungsdiagnose zunächst die Schrittketten innerhalb des kompletten SPS-Programms identifiziert werden. Das automatische Auffinden der im Programmcode ausgeführten Schrittketten ist demzufolge Grundvoraussetzung für die systematische Fehlerdiagnose. Im ersten Diagnoseabschnitt muß anhand der Schrittketten der Zustand ermittelt werden, in dem der Prozeß stehengeblieben ist.

Zur automatischen Identifikation der in einem SPS-Programm vorkommenden Schrittketten kann man die vorstehend beschriebene Beziehung ausnutzen. Prinzipiell ist bei der Untersuchung einer unbekannten AWL jeder Operand mit Speicherverhalten potentieller Ausgangspunkt einer Schrittkette, beispielsweise bei Figur 2:

S M 64.1.

10 Dies wird aber erst bestätigt, wenn der Speicheroperand selbst, und zwar in Figur 2 M64.1, als Bedingung für das Setzen eines weiteren Speicheroperanden auftaucht. Dies ist z.B.

...
U E 1.5
15 U M 64.1
S M 64.2
...

wobei erst der zweite Speicheroperand, und zwar M64.2, das
20 Rücksetzen des ersten veranlaßt. Daraus ergibt sich beispielsweise

...
U M 64.2
R M 64.1.
25 ...

Man erkennt also, daß zwei in dem beschriebenen Zusammenhang stehende Speicherelemente den Minimalausbau einer Schrittkette darstellen. Das zweite Speicherelement, und zwar M64.2,
30 kann dann in entsprechender Weise untersucht werden, ob es mit einem weiteren Speicherelement in einer Schrittkettenbeziehung steht. Diese Untersuchung wird bis zur Identifizierung aller Glieder der Schrittkette fortgesetzt.

35 Bei letzterer Vorgehensweise zur Identifikation von Schrittketten in AWL's ergibt sich, daß ausschließlich ein SPS-Pro-

gramm in Form einer AWL notwendig ist. Damit werden alle im SPS-Programm implementierten Schrittketten bezüglich der verwendeten Speicheroperanden identifiziert. Es können auch verzweigte oder schleifenförmige Schrittkettenstrukturen erkannt werden, da jedes Schrittkettenglied Ausgangspunkt für einen, aber auch für mehrere Nachfolger sein kann und da ein bereits früher verwendeter Schrittmerker auch wieder Nachfolgender eines späteren sein kann.

- 10 Um im Fehlerfall eine Diagnose durchführen zu können, müssen die gefundenen Schrittketten als Wissensbasen aufbereitet werden. Gemäß Figur 3 wird dazu die allgemein verbreitete Form der Entscheidungsbäume verwendet, wobei die als Schrittmerker identifizierten Speicheroperanden in der obersten Ebene eines solchen Baumes angeordnet werden. Im Diagnosefall wird anhand der Schrittmerker ermittelt, in welchem Zustand der Prozeß steht und welcher Schritt als nächster zur Ausführung hätte gelangen müssen. Die Abfrage des aktiven Schrittmerkers kann dann im On-line-Dialog zwischen SPS und Diagnoserechner erfolgen. Die Ursache für das Stehenbleiben der Schrittkette ist in den Transitionen für den Prozeßschritt, der nicht mehr zur Ausführung gelangt, zu suchen.

- 25 In einem zweiten Diagnoseabschnitt wird eine Transitionsanalyse durchgeführt. Hier wird untersucht, welche Weiterschaltbedingungen für diesen nächsten Prozeßschritt erfüllt sein müssen. Das Erkennen nichterfüllter Weiterschaltbedingungen liefert dabei direkte Hinweise auf Prozeßkomponenten oder Prozeßzustände, die für die Störung des Prozeßablaufes verantwortlich sind.

- 35 In Figur 4 ist eine sogenannte Schrittzelle dargestellt, aus der die Weiterschaltbedingungen eines Prozeßschrittes als direkte oder indirekte Eingänge der Basiskonjunktion erkennbar sind. Im einfachsten Fall hängt die Freigabe des nächsten Prozeßschrittes von Prozeßzuständen ab, die mittels binärer

Sensoren erfaßt werden und immer in gleicher Weise vorliegen müssen. Solche Prozeßzustandssignale werden unmittelbar als zusätzliche Eingänge an die Basiskonjunktion angehängt und stellen direkte Weiterschaltbedingungen dar.

5

Letzteres wird im Fehlerbaum gemäß Figur 3 berücksichtigt. Dabei wird davon ausgegangen, daß Fragen nach den Prozeßzustandssignalen so formuliert sind, wie sie in der AWL-Darstellung des SPS-Programms niedergelegt sind. Daraus ergeben sich nicht-invertierte Zustandsfragen mit dem Erwartungswert "high" invertierte Zustandsfragen mit dem Erwartungswert "low". Da das Auftreten des Erwartungswertes die Weiterschaltbedingungen erfüllt, ist bei diesem Konzept die Fragesemantik positiv.

15

Bei einer Diagnose müssen alle Prozeßsignaleingänge als fehlerhaft markiert werden, die nicht das Potential des Erwartungswertes aufweisen. Werden anstelle direkter Signaleingänge Merkmervariable verwendet, so werden diese völlig entsprechend den Eingängen behandelt. Merker können jedoch anhand des SPS-Programmes weiter entschlüsselt werden. Dies wird anhand Figur 5 verdeutlicht.

20

In praktischen Fällen wird also zunächst aus mehreren binären Prozeßsignalen ein zusammengesetztes Zustandssignal abgeleitet und es wird nur das Ergebnis einer logischen Verknüpfung an die Basiskonjunktion der Schrittzelle angeschlossen. Aufgrund der Vielfalt logischer Verknüpfungsmöglichkeiten müssen dabei mehrere Fälle getrennt diskutiert werden.

25

30

Liegt an einem nicht-invertierenden Eingang der Basiskonjunktion der Ausgang eines vorgeschalteten UND-Gatters an, so wird dieser Eingang der Basiskonjunktion durch ein Frageobjekt im Fehlerbaum repräsentiert. Die Eingänge des vorgeschalteten UND-Gatters werden daher entsprechend ihrer Darstellung in der AWL als reine Frageobjekte in einer zusätzli-

35

chen Ebene des Fehlerbaumes eingeführt. Die Fragesemantik ist auch in diesem Fall stets positiv, da nur die Erwartungswerte an allen Eingängen des vorgelagerten UND-Gatters den Erwartungswert für den Eingang der Basiskonjunktion liefert. Dies ist anhand der Figur 6 verdeutlicht. Bei der Diagnosedurchführung werden daher alle Prozeßsignaleingänge als sicher fehlerhaft markiert, die nicht das Potential des Erwartungswertes aufweisen.

- 10 Liegt an einem nichtinvertierenden Eingang der Basiskonjunktion ein vorgeschaltetes ODER-Gatter an, so wird auch hier der Eingang der Basiskonjunktion durch ein Frageobjekt repräsentiert. Die Eingänge des vorgeschalteten ODER-Gatters werden entsprechend der AWL als zusätzliche Ebene im Fehlerbaum
- 15 arrangiert. Die Fragesemantik bleibt auch hier wieder positiv, da der Erwartungswert der Basiskonjunktion nur dann erfüllt wird, wenn mindestens ein Prozeßeingang des vorgelagerten ODER-Gatters das Erwartungswert-Potential aufweist.
- 20 Bei der Durchführung der Diagnose wird das ODER-Gatter nur dann als verdächtig markiert, wenn es am Ausgang nicht den Erwartungswert der Basiskonjunktion liefert. In diesem Fall ist jeder Eingang des ODER-Gatters in gleicher Weise verdächtig, da aus der logischen Struktur des SPS-Programms nicht
- 25 hervorgeht, welches der verknüpften Prozeßsignale in der speziellen Situation seinen Erwartungswert hätte annehmen müssen. Dies ist anhand Figur 7 verdeutlicht.
- Liegt an einem invertierenden Eingang der Basiskonjunktion
- 30 ein vorgeschaltetes UND-Gatter, so wird dieser Eingang durch ein Frageobjekt UN im Fehlerbaum repräsentiert. Die Eingänge des vorgeschalteten UND-Gatters ergeben auch hier eine weitere Ebene im Fehlerbaum entsprechend der Ausführung der AWL. Im Gegensatz zu den beiden zuvor behandelten Fällen ist die
- 35 Fragesemantik hier negativ, da die Erwartungswerte an den Eingängen des vorgelagerten Gatters den Ausgangswert "high"

liefern und damit den Erwartungswert der Basiskonjunktion nicht erfüllen.

Bei der Durchführung der Diagnose wird das vorgelagerte UND-Gatter immer dann als Störungsindikator identifiziert, wenn alle seine Eingänge auf Erwartungswertpotential liegen. Entsprechend der vorher behandelten ODER-Verknüpfung auf nicht-invertierenden Eingängen der Basiskonjunktion ist dann jeder dieser Eingänge potentieller Störungsindikator und muß als solcher markiert werden. Dies ergibt sich aus Figur 8.

Liegt an einem invertierenden Eingang der Basiskonjunktion ein vorgeschaltetes ODER-Gatter, so wird dieser Eingang entsprechend dem vorhergehenden durch UN dargestellt. Die Eingänge des ODER-Gatters werden ganz entsprechend in eine weitere Frageobjektebene des Fehlerbaumes umgewandelt. Die Fragesemantik dieser neuen Ebene ist infolge des invertierenden Eingangs der Basiskonjunktion wieder negativ. Das ODER-Gatter liefert am Ausgang nur dann den Erwartungswert der Basiskonjunktion "low", wenn keiner seiner Eingänge das Erwartungswertpotential hat. Letzteres ist in Figur 9 dargestellt. Daraus ergibt sich, daß jeder Eingang des ODER-Gatters, der im Diagnosefall den Erwartungswert aufweist, die Weiterschaltung der Prozeßschrittfolge verhindert und somit ein sicherer Wegweiser zu vorliegender Prozeßstörungsursache ist.

Die vorangehenden Beispiele zeigen, daß jeder Transitionseingang der Basiskonjunktion und gegebenenfalls vorgelagerter logischer Gatter im Fehlerbaum als Frageobjekt repräsentiert wird. Dabei entsprechen die Hierarchieebene der Frageobjekte im Fehlerbaum der Hierarchie der Verknüpfungsebenen in einer FUP-Darstellung des SPS-Programms. Im Fehlerbaum selbst werden die Fragen nach den Prozeßzuständen in gleicher Weise formuliert, wie sie in der AWL-Darstellung des SPS-Programms erscheinen. Dies wird als Erwartungswertkonzept bezeichnet.

Mit diesen Grundlagen können auch mehrfach verknüpfte Weiterschaltbedingungen realisiert werden. Liegen an den Eingängen eines der Basiskonjunktion vorgelagerten Verknüpfungsgliedes noch immer nichtausschließlich die Prozeßzustandssignale an, sondern in einer hierarchischen Ordnung die Ausgangssignale weiterer Verknüpfungsgatter, so lassen sich obige Maßnahmen einfach auf mehrere vorgelagerte Ebenen erweitern. Es gelten somit entsprechende Aussagen.

- 5
- 10 Außer den vorstehend betrachteten statischen Transitionsbedingungen, mit deren Hilfe überwacht wird, ob zum Zeitpunkt der Weiterschaltung der Schrittkette bestimmte Prozeßzustände in einer vorgegebenen Weise anstehen, sind in SPS-Programmen auch dynamische Weiterschaltbedingungen üblich und notwendig.
- 15 Diese kontrollieren, ob eine bestimmte Anzahl von Ereignissen aufgetreten ist, d.h. sie wirken als Zähler, oder ob seit dem Auftreten eines Ereignisses eine vorgeschriebene Zeit eingehalten wurde, d.h. sie wirken als Timer. Die Ausgänge solcher Programmelemente können an die Eingänge von Basiskonjunktionen angeschlossen werden. Im Diagnosefall müssen auch sie
- 20 automatisch analysiert werden.

Im einzelnen sind hierzu das RS-Flip-Flop, der Zähler und der Timer zu beachten: Liegt am nichtinvertierenden Eingang einer

25 Basiskonjunktion ein RS-Flip-Flop, so wird dieses fehlerverdächtig, wenn sein Ausgang bei der Schrittketten-Diagnose nicht das Potential des Erwartungswertes besitzt. Die mögliche Ursache hierfür ist, daß das Flip-Flop im Prozeßablauf nicht ordnungsgemäß gesetzt wurde, womit sein Setzeingang fehlerverdächtig ist. Es ist aber auch möglich, daß das Flip-Flop, obwohl es gesetzt war, durch einen gestörten Prozeßzustand vorzeitig zurückgesetzt wurde. Damit ist in gleicher Weise der Rücksetz-Eingang fehlerverdächtig.

30

- 35 Zur Umsetzung eines Flip-Flop in eine Fehlerbaumstruktur müssen entsprechend der AWL Objekte für den Setz- und Rücksetz-

Eingang im Fehlerbaum eingefügt werden. Diese Objekte dienen ausschließlich strukturellen Kriterien. Die Bedingungen, für das Setzen bzw. Rücksetzen werden gemäß dem Erwartungskonzept als weitere Ebene im Fehlerbaum angehängt. Dies ist in Figur 5 10 dargestellt.

Ähnlich wie ein Flip-Flop verhält sich im Diagnosefall auch ein Zähler. Wesentlicher Unterschied ist, daß zum Zeitpunkt der Transition der Schrittkette nicht ein einzelnes Ereignis 10 aufgetreten sein muß, sondern eine festgelegte Anzahl von Ereignissen.

Hat im Diagnosefall ein Zähler seinen vorgesehenen Endstand nicht erreicht, wird der Eingang in die Liste fehlerverdächtiger Prozeßzustandssignale aufgenommen werden. Die Umsetzung 15 in eine Fehlerbaumstruktur erfolgt entsprechend.

Wenn ein Zeitglied als Eingang einer Basiskonjunktion verarbeitet wird, kann die Betrachtung der statischen Prozeßzustände nicht klären, welcher Fehler im zeitlichen Ablauf aufgetreten ist, da ein automatischer Diagnoseablauf nicht unmittelbar im Augenblick des Stehenbleibens der Prozeßschritt- 20 kette stattfindet. Hier wird ein sogenanntes Timerobjekt eingeführt, dessen Eingangsbedingungen bei nichterfülltem Erwartungswert am Ausgang in die Liste fehlerverdächtiger Prozeß- 25 zustandssignale aufgenommen werden.

Vorstehend beschriebenes Diagnoseverfahren wurde für verschiedene SPS-gesteuerte Montageprozesse erprobt: Eine einfache 30 Anwendung besteht beispielsweise bei der Bestückung einer Leiterplatte mit Bauteilen, bei der neben SMD-Bauteilen auch Kondensatoren in bedrahteter Ausführung montiert werden müssen. In Figur 11 und 12 ist eine derartige Leiterplatte mit 10 bezeichnet, die Bohrungen 11, 12 etc. aufweist, die zur Aufnahme von Kondensatoren 101 bis 106 vorgesehen sind. Die 35 Montage derartiger Kondensatoren 101ff kann per Hand erfol-

gen, wobei jeweils einem Kondensator 101ff zugehörige Anschlußdrähte 111,121ff mit einer automatisierten Vorrichtung definiert abgekantet werden. Angestrebt wird aber, den gesamten Fertigungsverfahren automatisiert durchzuführen, wozu entsprechend Fertigungsverfahren notwendig sind. In Figur 13 und 14 ist eine Fertigungsverfahren wiedergegeben, die aus einer Aufnahme 200 besteht, in die je eine mit Kondensatoren 101 ff. bestückte Platine 10 ff. eingelegt werden kann. Damit die Kondensatoren 101, 102 ff. während der Bearbeitung in ihrer Lage fixiert sind, werden sie mit einer Druckplatte 210 arretiert. Diese kann mit einem Pneumatikzylinder 220 vertikal angehoben und abgesenkt werden. Die Druckplatte 210 wird während des Abkantvorganges mit Hilfe eines Verriegelungszyinders 230 zwangsweise in ihrer Position gehalten. Die Anschlußdrähte 111, 121 ff. der in Längsrichtung angeordneten Kondensatoren 101 ff. werden mit Hilfe eines Längsschiebers 240 nach rechts bzw. links gebogen. Der Längsschieber 240 wird durch zwei in Reihe geschaltete Pneumatikzylinder 250 und 255 betätigt. Befindet sich der linke Zylinder 250 am rechten Anschlag und der rechte Zylinder 255 am linken Anschlag des jeweiligen Fahrweges, so steht der Längsschieber 240 in der Mittelstellung zwischen den Kondensatorbeinchen.

Die in Querrichtung angeordneten Kondensatoren 101 ff. werden mit Hilfe eines Querschiebers 260 bearbeitet, der mit zwei in Reihe geschalteten Pneumatikzylindern 265 und 270 in gleicher Weise wie der Längsschieber 240 aufgebaut ist. Ein nicht im einzelnen dargestelltes Hauptventil wird zur Freigabe der Druckluftversorgung gesteuert. Die Sensorsignale für die Steuerung werden durch digitale Näherungsschalter E1.1 bis E2.1 zur Verfügung gestellt, deren Lage in der Figur 14 angegeben ist. Damit können die Lage der Druckplatte 210, des Verriegelungszyinders 220 und der beiden Schieber 250 und 55 erfaßt werden.

Für die Steuerung des Bearbeitungsvorganges mit der Vorrichtung 200 wird von einem speicherprogrammierbaren Automatisierungsgerät (AG) kontrolliert, dessen Programm die Form einer Anweisungsliste hat und die im Anhang wiedergegeben ist. Sie besteht im einzelnen aus einem Organisationsbaustein OB1 und verschiedenen Programmbausteinen PB1 bis PB3. Es erfolgt folgender Ablauf:

Vom Organisationsbaustein OB1, der zyklisch abgearbeitet wird, werden die drei Programmbausteine PB1, PB2 und PB3 aufgerufen. Der Programmbaustein PB1 besteht aus 14 Netzwerken, in denen im wesentlichen die einzelnen Schritte des Bearbeitungsvorganges durchgeführt werden. Im Netzwerk 1 wird überprüft, ob die Vorrichtung in Grundstellung steht und die Schrittkette derzeit nicht aktiv ist. Wenn dies erfüllt ist und eine Wartezeit abgelaufen ist, wird der Merker M64.0 gesetzt und die Schrittkette damit gestartet.

Im Netzwerk 2 wird untersucht, ob die Druckplatte 210 in Arbeitsposition ist und dann der Verriegelungszyylinder 220 vorgefahren. Damit ist der erste Schritt ausgeführt, was durch Setzen des Schrittmerkers M64.1 angezeigt wird, was das Aktivieren des Schrittes 2 bedeutet.

Im Netzwerk 3 wird untersucht, ob der Verriegelungszyylinder 240 aufgefahren ist. Sobald dies erfüllt ist, wird der Druckplattenzyylinder 210 ausgefahren und der dritte Schrittmerker M64.2 gesetzt.

Ganz entsprechend haben die Netzwerke NW4 bis NW11 bestimmte Funktionen beim Bestückungsvorgang, wobei diesem die Schrittmerker M64.3 bis M65.1 zugeordnet sind. Die verbleibenden Netzwerke NW12, NW13 und NW14 dienen dazu, beim Erreichen der jeweiligen Endlagen von Quer- und Längsschieber eine Wartezeit anzustoßen bzw. den Programmbaustein abzuschließen.

Der Programmbaustein PB2 dient dazu, aus den Sensorsignalen des Quer- und Längsschiebers abzuleiten, wann beide Schieber gleichzeitig in Mittelstellung stehen. Diese Information wird in dem Schrittmerker M67.0 zusammengefaßt. Der Programmbaustein PB3, der durch die Funktionsbausteine FB1 und FB2 unterstützt wird, realisiert schließlich einen Stückzähler und ist für die Ablaufsteuerung selbst ohne Belang.

Eine Anweisungsliste entsprechend Anhang 1 kann durch Rückübersetzung des auf dem Automatisierungsgerät der Biegevorrichtung bearbeiteten Programms erzeugt werden. Sie ist ein typisches Beispiel dafür, wie im Störfall die Diagnose erfolgen muß:

Zunächst kann nicht sofort erkannt werden, ob Schrittketten implementiert wurden und ggf. mit welchen Speicheroperanden die Schrittketten ausgeführt wurden. Im allgemeinen ist es sehr mühsam und zeitaufwendig, die Transitionsbedingungen der einzelnen Schritte im Programmcode zu analysieren.

Durch Anwendung des oben beschriebenen Verfahrens der Schrittkettenanalyse ist es nun unter Zuhilfenahme eines Rechners möglich, herauszufinden, welche der verwendeten Operanden in einer Schrittkettenbeziehung zueinander stehen. Es sind dies im betrachteten Beispiel die Merker M64.0 M64.1 M64.2 M64.4 M64.5 M64.6 M64.7 M65.0 M65.1. Aufbauend auf die gefundenen Schrittmerker kann nun die oberste Ebene eines Entscheidungsbaumes angelegt werden. Damit ist eine entscheidende Hilfe bei der Durchführung einer Störungsdiagnose gegeben. Im Diagnosefall wird untersucht, in welchem Schritt der Kette der Fertigungsprozeß zum Stehen gekommen ist.

Ganz entsprechend erfolgt die Transitionsanalyse. Im Störfall müssen alle Transitionen für den zur Ausführung anstehenden Prozeßschritt bis auf Sensorsignale zurückgeführt werden. Die

Anwendung auf die Weiterschaltung der erwähnten Schrittmerker M64.5 auf M64.6 zeigt, daß der Merker M67.0 gesetzt sein muß, damit die Schrittkette an dieser Stelle weiterläuft.

- 5 Der Zustand der Schrittmerkers M67.0 hängt ab von den Eingangssignalen E1.1, E1.2, E1.3, E1.4, E1.6, E1.7, E2.0, E2.1. Demzufolge werden alle genannten Eingangssignale in einer weiteren Ebene als Frageobjekte an den Merker M67.0 angehängt.

10

- Damit ist an dem beschriebenen Beispiel ein Ast des Entscheidungsbaumes bis auf die Eingangssignale aus der Anlage zurückgeführt. Eine solche Ausführung dieses Astes des Entscheidungsbaumes ist in der Figur 15 wiedergegeben. Damit
15 kann leicht überprüft werden, welches oder welche der Eingangssignale die Abarbeitung der Schrittkette blockiert haben. Bei einer umfangreichen Anlage mit mehreren 100 Eingangssignalen und zum Teil stark im Gesamtprogramm verflochtenen Transitionsbedingungen bedeutet obige Aufbereitung eine
20 erhebliche Erleichterung des Diagnosevorgangs.

- Der in Figur 15 realisierte Fehlerbaum kann nicht nur graphisch dargestellt, sondern auch als Wissensbasis für ein Expertensystem hinterlegt werden. Verwendet man eine Expertensystem-Shell, die über eine On-line-Prozeßschnittstelle zu Automatisierungsgeräten verfügt, so kann diese Expertensystem-Shell auf der automatisch erzeugten Wissensbasis aufsetzen und im Störfall einerseits ermitteln, in welchem Schritt der Fertigungsprozeß zum Stillstand kam, und andererseits,
25 welche Eingangssignale für den Stillstand verantwortlich sind.

30

- Bei dem anhand der Figuren 11 bis 14 beschriebenen Beispiel kann dies bedeuten, daß der durch M64.5 aktivierte Prozeßschritt nicht abgeschlossen werden konnte, weil M67.0 nicht
35 gesetzt wurde. M67.0 wurde aber nicht gesetzt, weil bei-

spielsweise E1.1 nicht aktiviert wurde und E1.7 nicht gesetzt ist. Aus der bei SPS-Programmen üblichen Zuordnungsliste läßt sich entnehmen, daß der Querschieber 260 und die zugehörigen Pneumatikzylinder 265, 270 nicht ausgefahren wurden. Damit
5 ist also die Störungsursache weitgehend automatisiert aufgefunden und kann nach minimaler Fehlersuchzeit behoben werden.

Durch das vorstehend im einzelnen beschriebene Verfahren bekommt der Maschinenbediener innerhalb kürzester Zeit die entscheidenden Hinweise auf den Ort und damit auf den Grund einer Störungsursache, ohne daß er selbst Kenntnisse im Umgang mit einer SPS-Steuerung haben muß.
10

Patentansprüche

1. Verfahren zur automatischen Diagnose von Störungsfällen bei Prozessen und/oder Anlagen, die durch eine Ablaufsteuerung eines SPS-Programms kontrolliert werden, das als Kontaktplan (KOP), als Funktionsplan (FUP) oder als Anweisungsliste (AWL) erstellt ist, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß zur Bereitstellung für den Diagnosefall der AWL-Code des SPS-Programms maschinell analysiert und in Form einer Wissensbasis aufbereitet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß im SPS-Programm Schrittketten- und Verknüpfungsprogrammteile automatisch erkannt werden, ohne daß bei der Programmerstellung zusätzliche Konventionen eingehalten werden müssen.
3. Verfahren nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß zur Aufbereitung des SPS-Programms als Wissensbasis eine Schrittkettenanalyse durchgeführt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß zur Schrittkettenanalyse die im Programmcode ausgeführten Schrittketten bezüglich der verwendeten Speicheroperanden und bezüglich deren Abfolge identifiziert werden, woraus die oberste Entscheidungsebene eines Fehlerbaumes abgeleitet wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß zur Aufbereitung des SPS-Programms als Wissensbasis eine Transitionsanalyse durchgeführt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 4 und 5, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß bei Schrittkettensteuerungen zur Transitionsanalyse die Weiterschaltbedingungen der ein-

zernen Schritte der Schrittkettenanalyse untersucht und auf Prozesszustandssignale zurückgeführt werden.

5 7. Verfahren nach Anspruch 4 und 5, dadurch gekennzeichnet, daß bei Verknüpfungssteuerungen die Schaltbedingungen untersucht und auf Prozeßzustandssignale zurückgeführt werden.

10 8. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Transitionsanalyse logische Verknüpfungen entschlüsselt werden und der bei der Schrittkettenanalyse angelegte Fehlerbaum komplettiert wird.

15 9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß aus den Fehlerbäumen zusammen mit einer sogenannten Diagnose-Shell derjenige Prozeßschritt und/oder diejenigen Prozeßzustandssignale ermittelt werden, die zum Stillstand der Anlage oder des Prozesses geführt haben.

20 10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Diagnose mittels eines Rechners, insbesondere eines handelsüblichen PC's, durchgeführt wird.

25

1/12

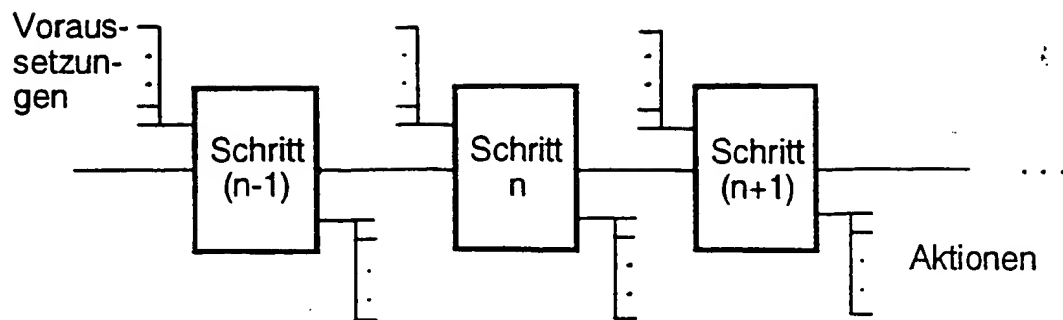


FIG 1

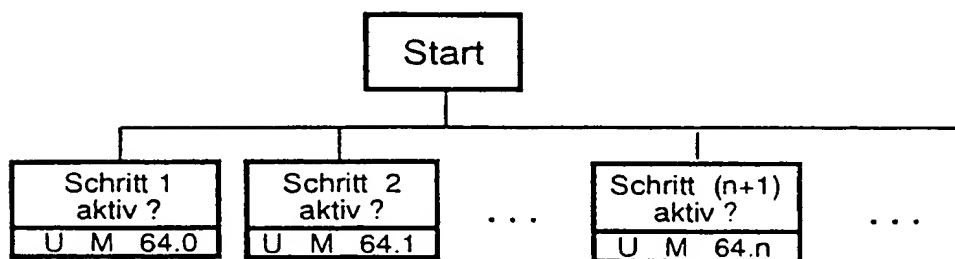


FIG 3

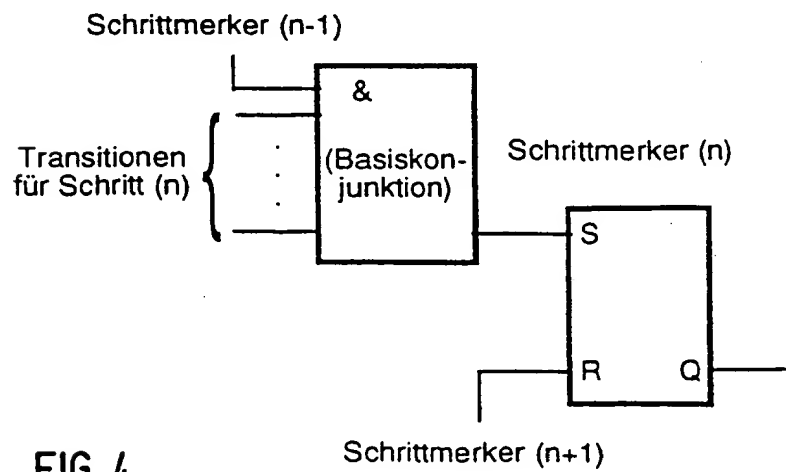


FIG 4

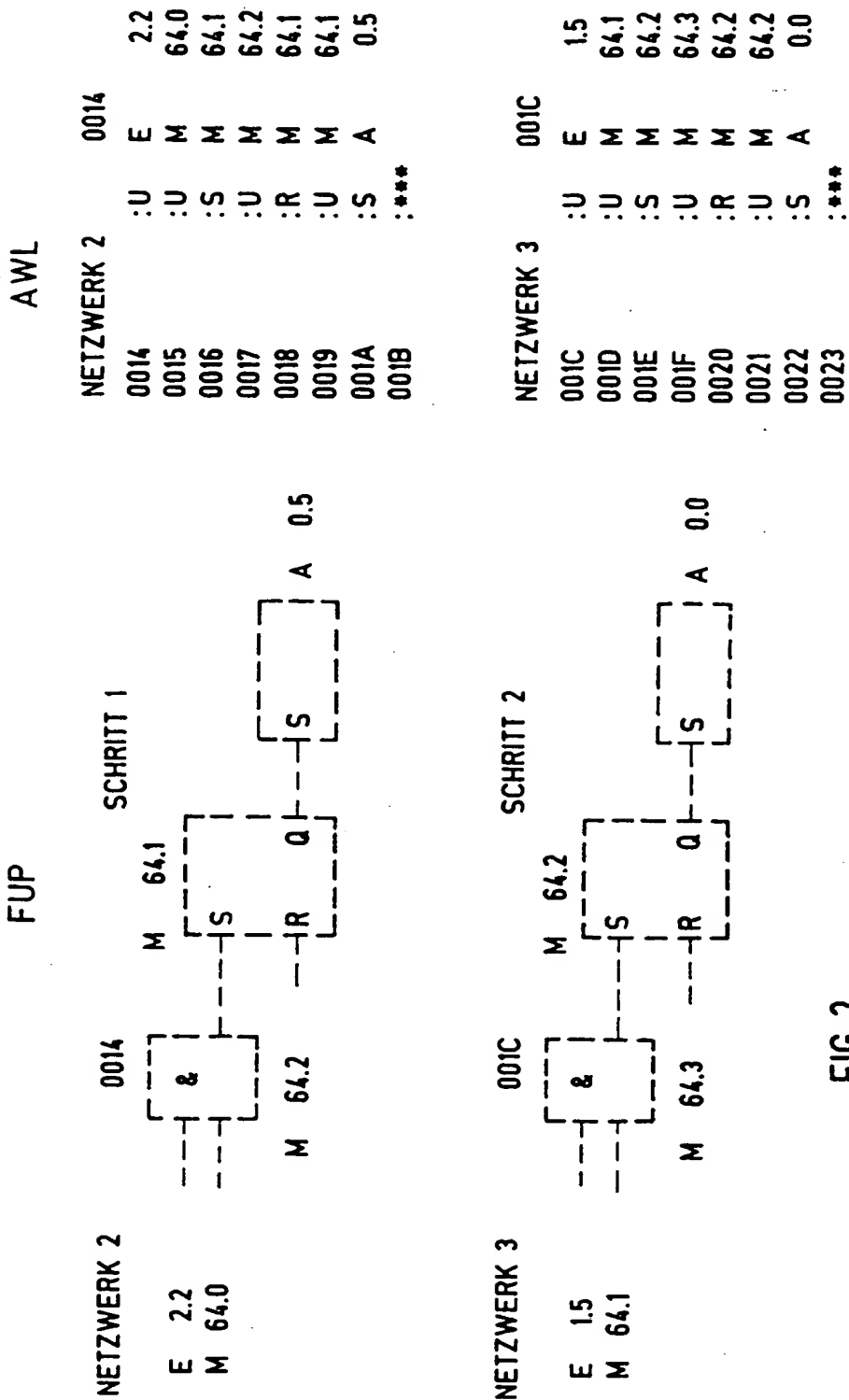


FIG 2

3/12

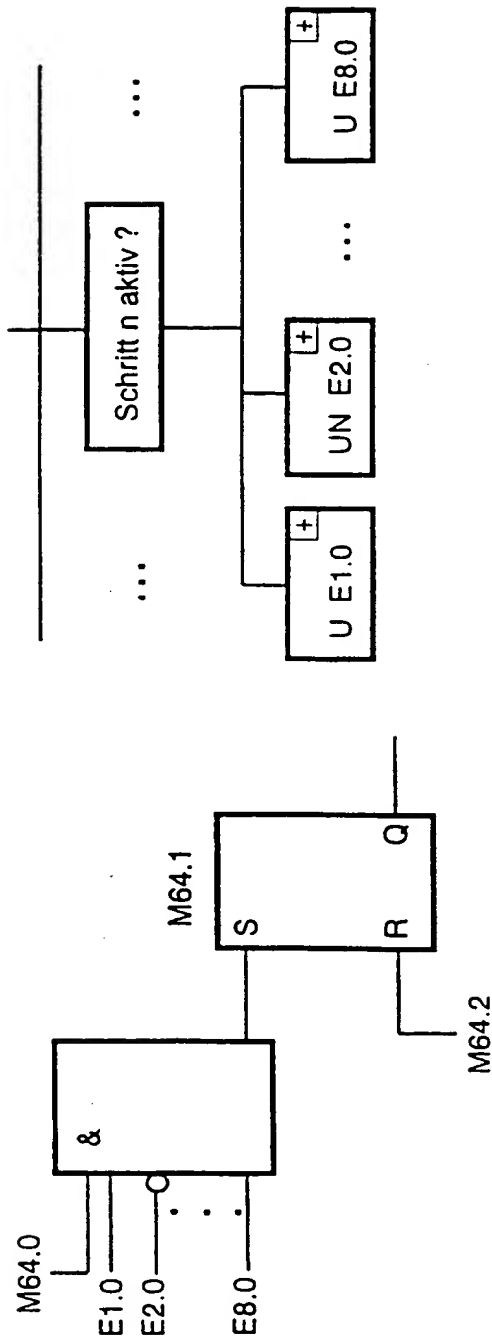


FIG 5

4/12

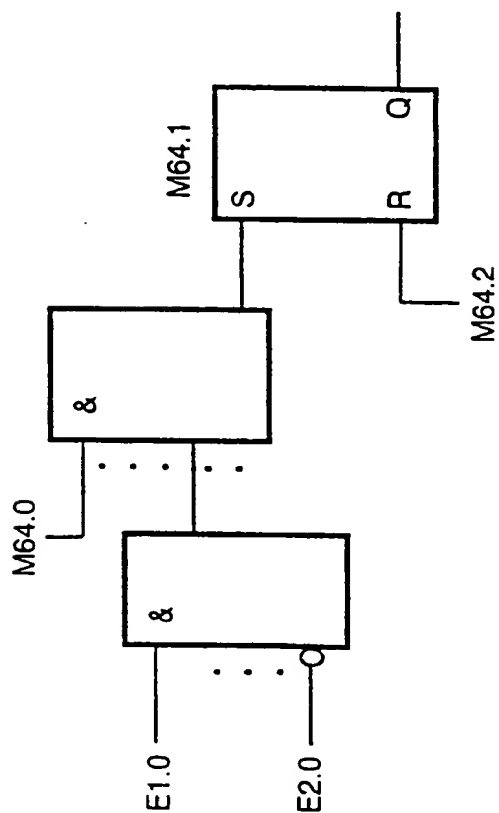
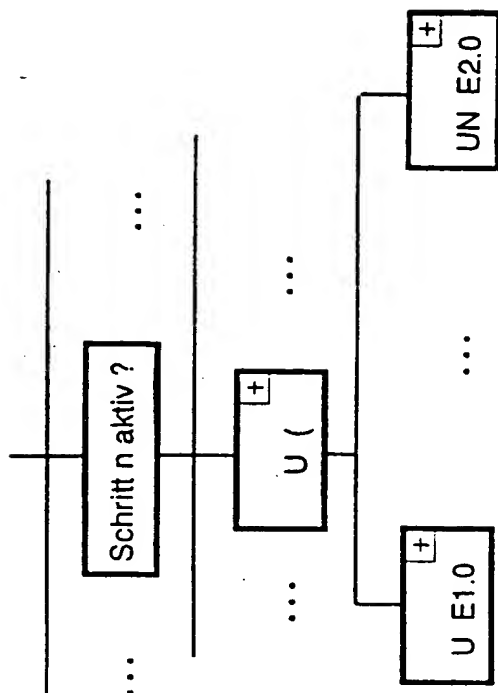


FIG 6

5/12

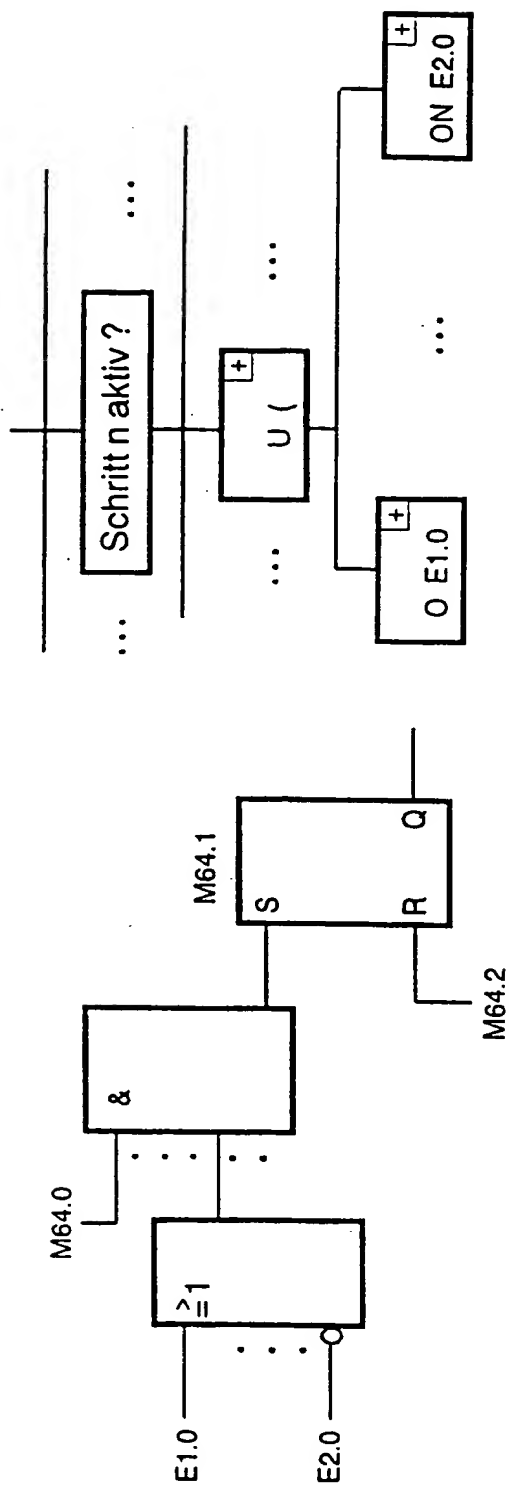


FIG 7

6/12

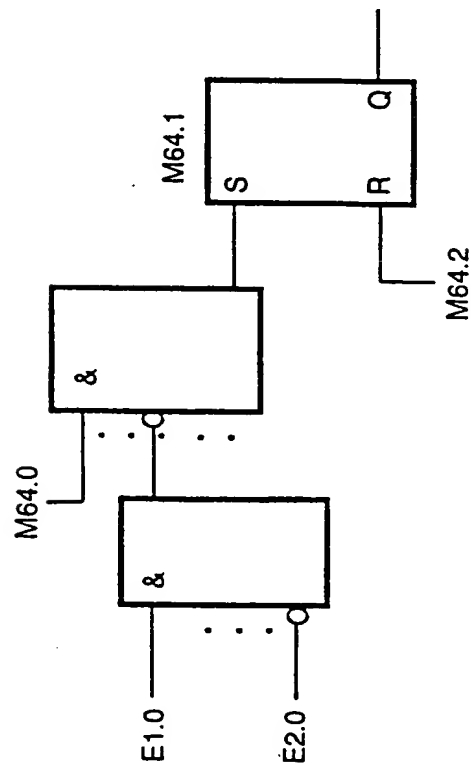
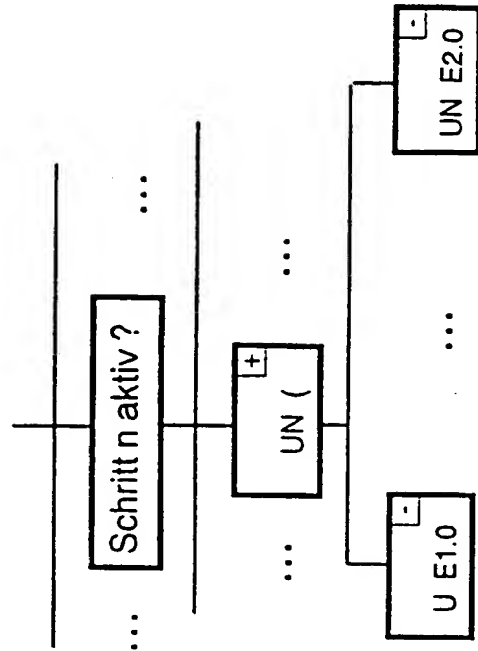


FIG 8

7/12

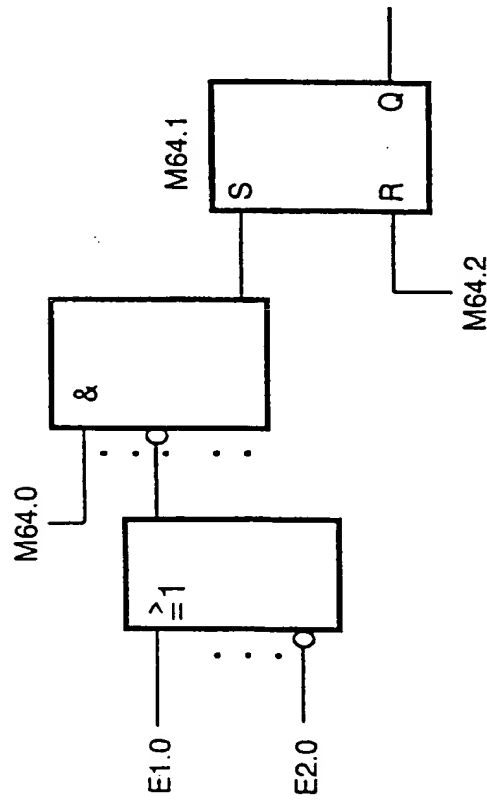
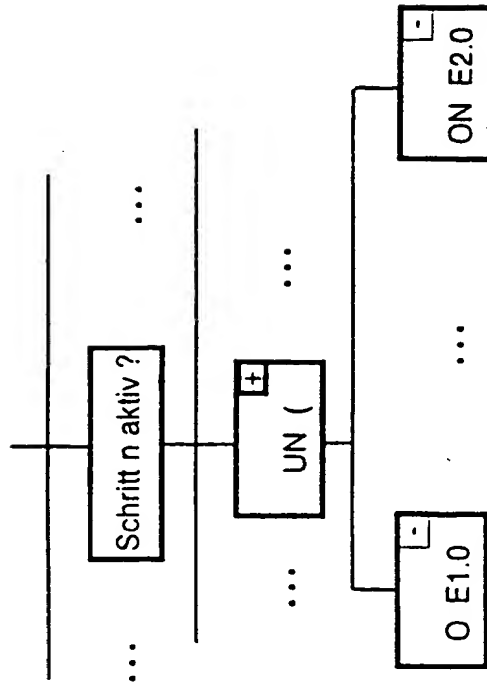


FIG 9

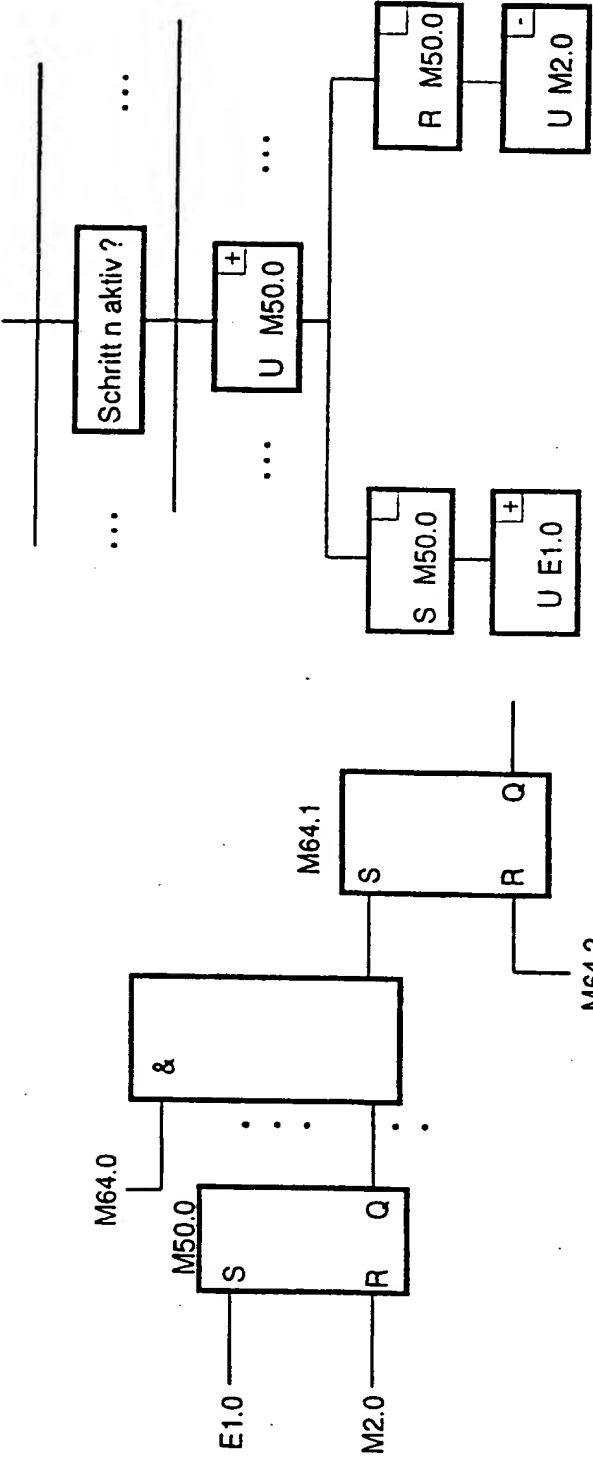
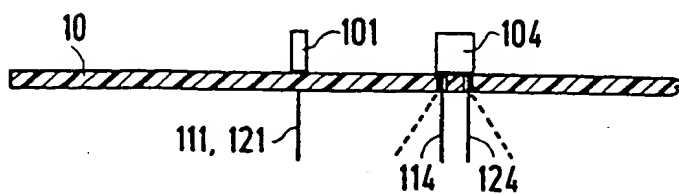
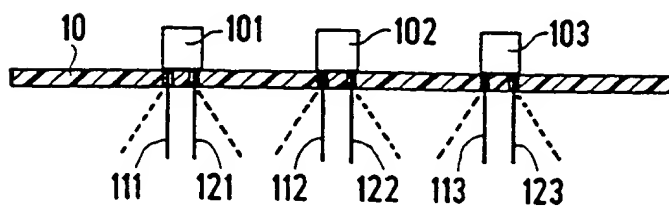
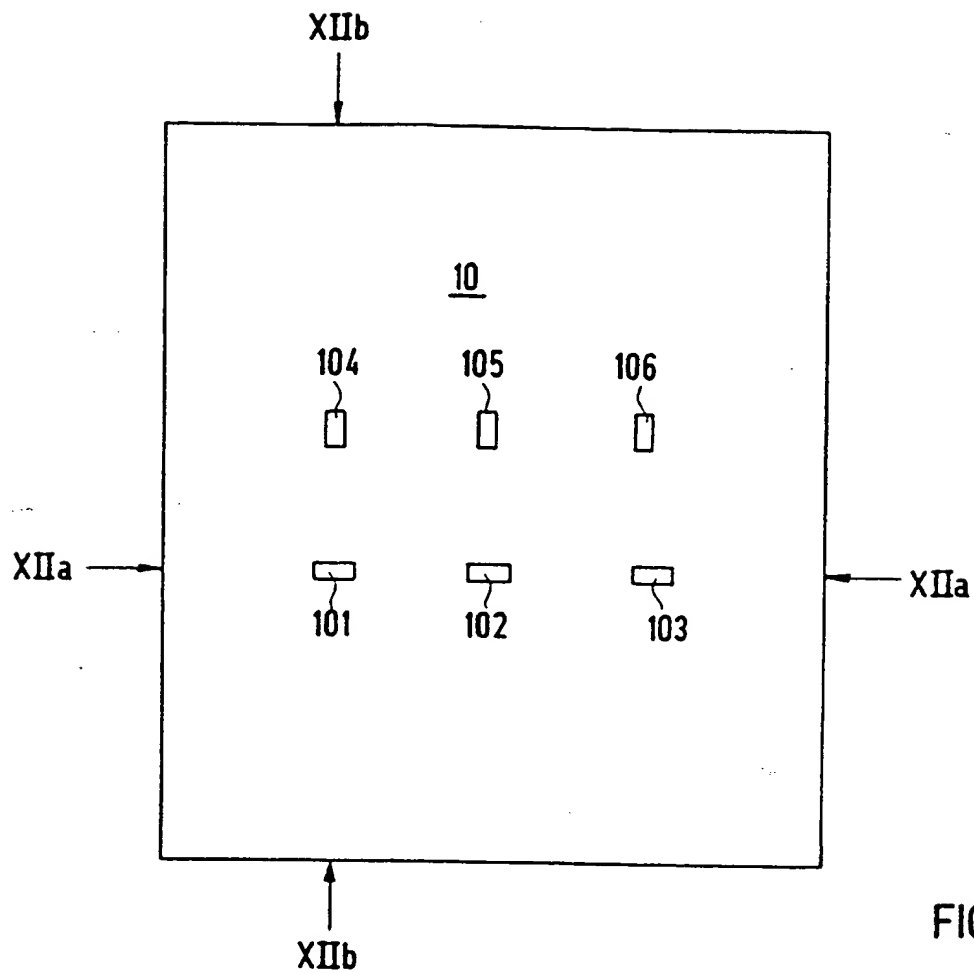


FIG 10

9/12



10/12

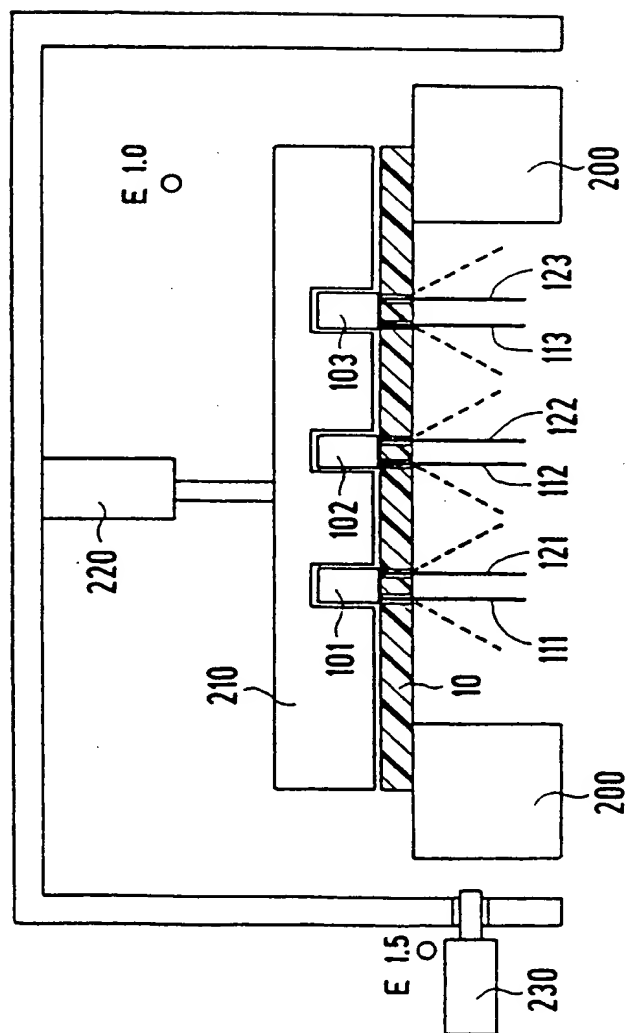


FIG 13

11/12

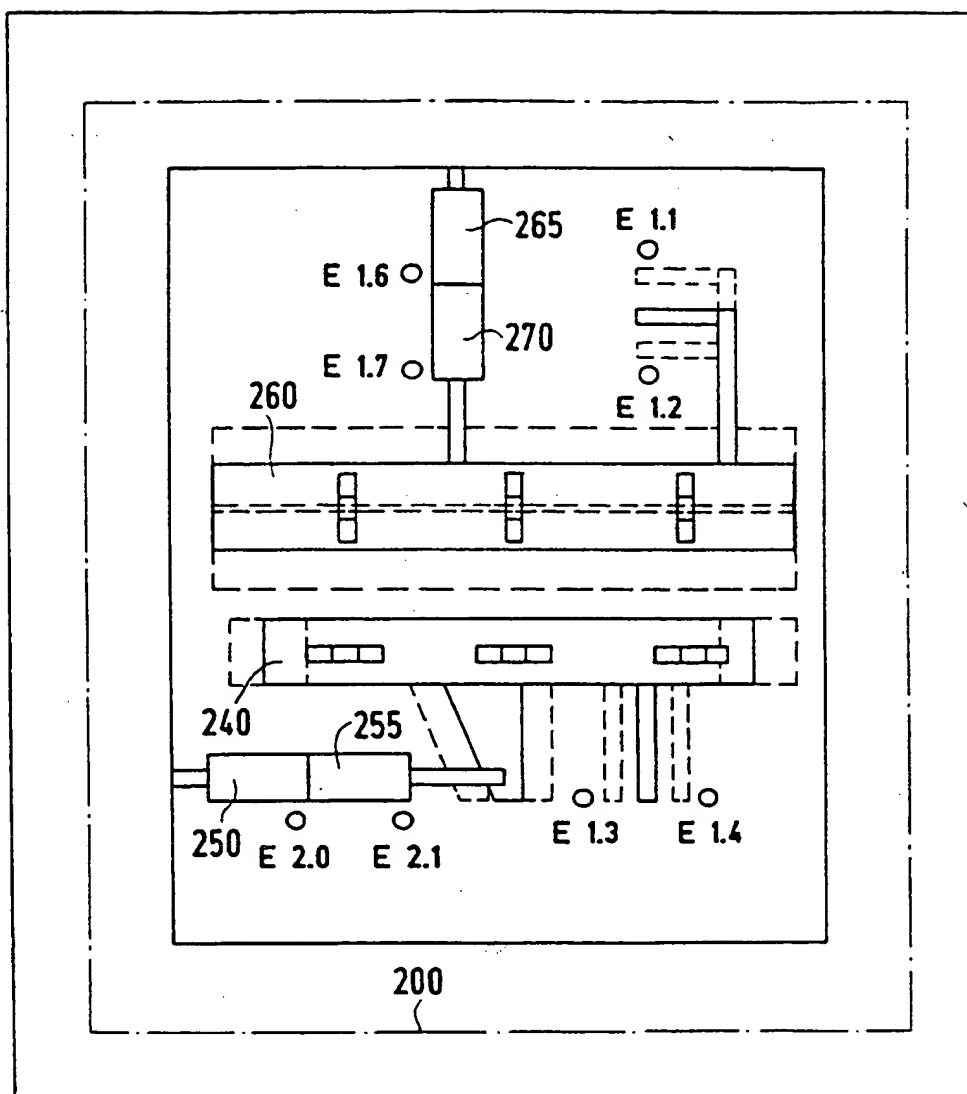


FIG 14

12/12

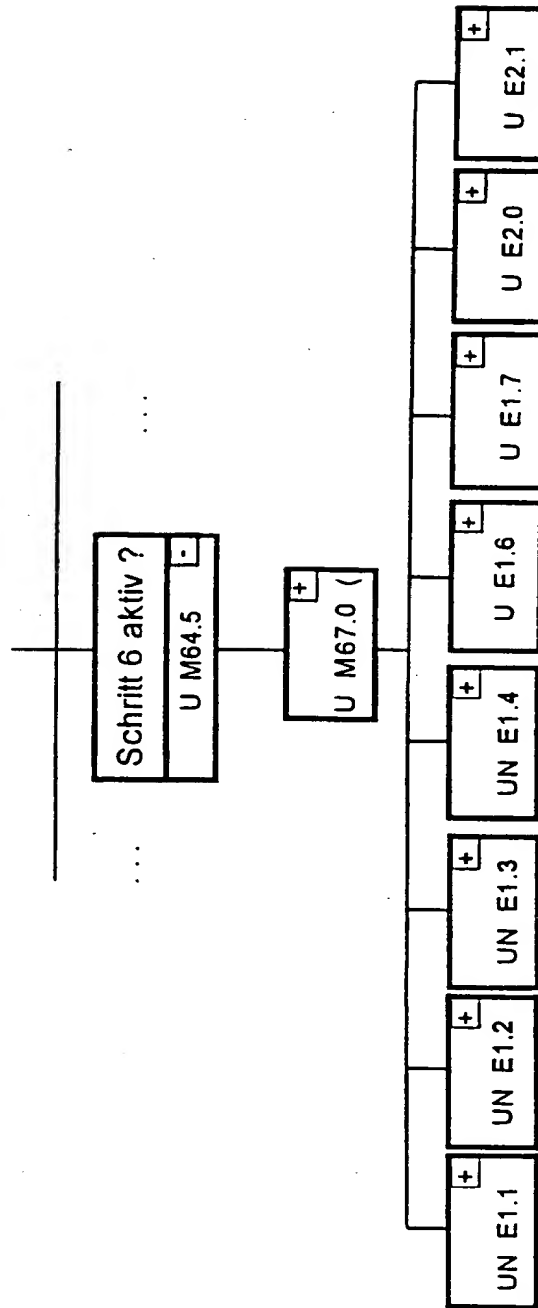


FIG 15

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Intern. Aktenzeichen
PCT/DE 95/00419

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

G 05 B 19/048, G 05 B 19/05, G 05 B 23/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK 6

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

G 05 B, G 06 F

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE, A, 4 226 536 (ALLEN-BRADLEY) 18 Februar 1993 (18.02.93), Fig. 1,5; Spalte 11, Zeile 41 - Spalte 14, Zeile 53.	1-10
A	EP, A, 0 314 190 (NISSAN) 03 Mai 1989 (03.05.89), Zusammenfassung; Spalte 20, Zeile 58 - Spalte 23, Zeile 11.	1-10
A	DD, A, 300 134 (TECHN. HOCHSCHULE LEIPZIG) 21 Mai 1992 (21.05.92), Anspruch 1.	1, 3, 5

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☐ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

* A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

* E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

* L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

* O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

* P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

* T* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

* X* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfindenderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

* Y* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfindenderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

* &* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

28 Juni 1995

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

27.07.95

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

FUSSY e.h.

des internationalen Recherchen-
gericht über die internationale
Patentanmeldung Nr.

to the International Search
Report to the International Patent
Application No.

au rapport de recherche inter-
national relatif à la demande de brevet
international n°

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten internationalen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben. Diese Angaben dienen nur zur Unterstützung und erfolgen ohne Gewähr.

This Annex lists the patent family members relating to the patent documents cited in the above-mentioned international search report. The Office is in no way liable for these particulars which are given merely for the purpose of information.

La présente annexe indique les
membres de la famille de brevets
relatifs aux documents de brevets cités
dans le rapport de recherche inter-
national visée ci-dessus. Les renseigne-
ments fournis sont donnés à titre indica-
tif et n'engagent pas la responsabilité
de l'Office.

[illegible]